

Unibertsoaren mugak eta erronkak

Aitziber Lasa Iglesias

Elhuyar

Zer da unibertsoa? Noiz hasi zen?... eta hori baino lehen zer? Unibertsoa aldatzen ari da? Nola? Horrelako galderei erantzuten saiatu da gizakia antzinatik, eta horrela sortu dira hainbat teoria urteetan zehar. Martxoan Alberto Galindo Tixeirorekin egon ginenean, eta oso gauza interesgarriak esan zizkigun.

Zer da unibertsoari buruz gaur egun dakiguna?

Gaur egun, kosmosari buruzko ideia nahiko koherente eta zehatza dute zientzialariek. Aitzitik, ezin da ahaztu astronomiak eta kosmologiak, beste zientzia batzuek ez bezala, behatu daitekeenera bakarrik mugatu behar dutela; izan ere, ezin dira hipotesi kosmologikoak baieztatzeko saiakuntzak diseinatu. Gehienera jota, teoria koherente bat eraikitzea lor daiteke, unibertsoan egiten diren behaketekin bat datorren teoria, hain zuzen ere.

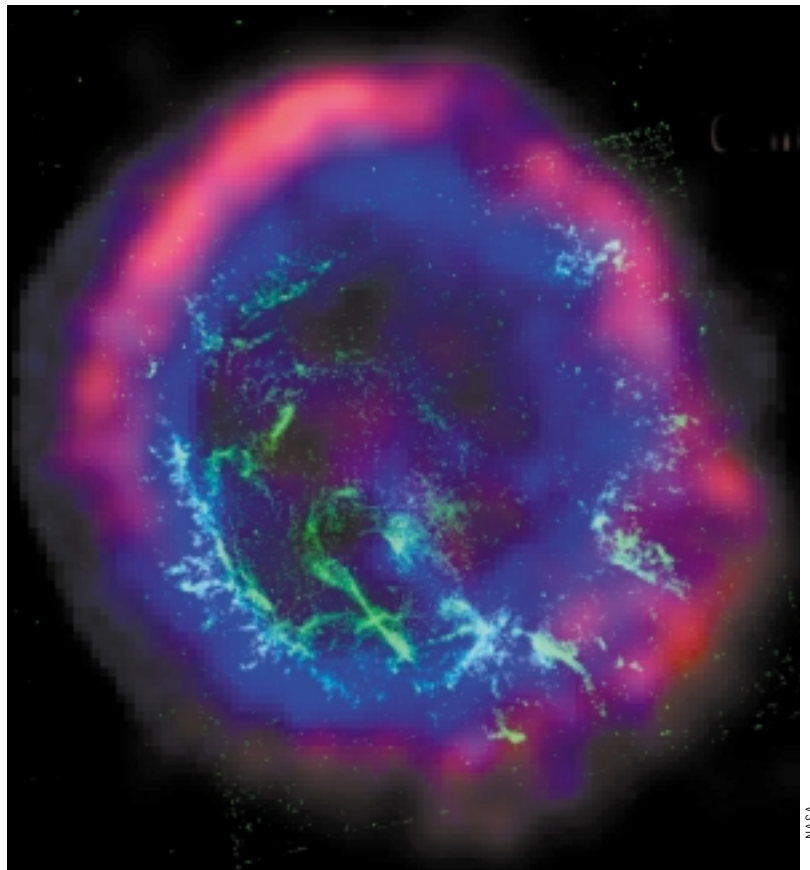
Horrela, gaur egungo kosmologo gehienek onartzen dute *Big Bang*-aren teoria; horren arabera, unibertsoak hasiera bat izan zuen eta eboluzio-prozesu bati darraio. Teoria hori zenbait behaketa egin eta gero ari da baieztatzen. Behaketa horiek hurrengoak dira.

Goriranzko lerrakuntza

Urrun-urruneko galaxietako izarren argia aztertzean, gauza bera ikusten da sistematikoki; izarren konposizio atomikoaren lerro espektralari dagokion

“gaur egun, kosmosari buruzko ideia nahiko koherente eta zehatza dute zientzialariek”

uhin-luzerak goriranzko lerrakuntza erlatiboa agertzen duela eta, galaxia zenbat eta urrunago egon, lerrakuntza orduan eta handiagoa da. Astrofisikarien



NASA

Zerbait gehiago badakigu, baina...

1900ean uste zena	2000n dakiguna
Unibertsoan gure galaxia baino ez dago.	Unibertsoa 100.000 milioi galaxia inguruk osatzen dute.
Unibertsoa aldezina da eta bere astroek higidura periodikoa dute.	Unibertsoa modu azeleratuan ari da hedatzen.
Izarren argia horien grabitazio-uzkurketak sorrarazten du.	Izarren barnean gertatzen den fusio termonuklearraren ondorio da igortzen duten argia.
Lurraren adina 100 milioi urtekoa da.	Eguzki-sistemak 4.566 milioi urte ditu, Lurraren adina 4.500 milioi urtekoa da eta unibertsoa duela 13.000 edo 14.000 milioi urte inguru sortu zen.
Zeruan, zazpi planeta, horien sateliteak eta kometak dituen gure eguzki-sistemaz aparte, milioika izar eta milaka nebulosa daude.	Galaxiak, quasareak, neutroi-izarrak, zulo beltzak, gamma izpien igorleak, bederatzita planeta eguzki baten inguruan, beste izar batzuen inguruan ere beste zenbait planeta behatu dira.
Unibertsoan dagoen guztia taula periodikoko 92 elementuek osatzen dute.	Gaur egun unibertsoaren konposaketa aztertzen denean, berriz, oso azalpen ezberdina ematen da. Taula periodiko berriak jada 118 elementu ditu eta horri ohiko materia deritzo. Zientzialarien arabera, ezagutzen dugun unibertsoan, % 35 baino ez da materia eta beste % 65a hutseko energia da. Materia horren % 5 bakarrik da ohiko materia eta beste guztia materia iluna da.
J.J. Thomsonek 1897an elektroia aurkitu zuen. Hori da ezagutzen den atomoa baino maila baxuagoko partikula bakarra.	Ehunka partikula subatomiko aurkitu dira: protoiak, neutroiak, barioiak, mesoiak... eta maila sakonagoan, oinarriko partikula batzuk: 6 quark, 6 leptoi eta 12 mesoi.
Newtonek, Boltzmannek eta Maxwellek formulatu zituzten mekanika klasikoa, mekanika estatistikoa eta elektromagnetismoaren ekuazioak hurrenez hurren. Horiek ziren garai horretako oinarriak.	Planckek eta Einsteinek proposatutako teoria iraultzaileak (kuantuak eta erlatibitatea) dira oinarri gaur egungo fisikan.



ARTXIBOKOA

Susmatuko ote zuten gaur egun dakiguna?

“galaxiek, zenbat
eta urrunago
egon, orduan
eta abiadura
handiagoaz alde
egiten dute”

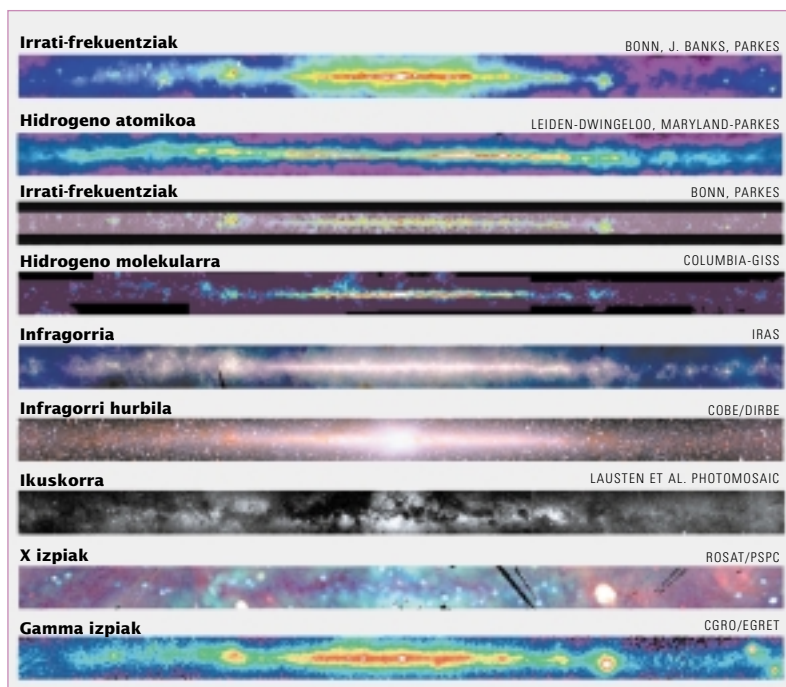
zen. Hedakuntzaren ondorioz tenperatura 3.000 gradu ingurura jaitsi zenean, atomoak eratu ziren eta unibertsoa argiarekiko gardena bilakatu zen. Lehen argi horren arrasto diren fotoiek unibertsoa zeharkatzen jarraitu dute, eta gaur egun 3 K-eko tenperaturan jasotzen ditugu; hondoko mikrouhin-erradiazioa da hori, hain zuzen ere.

1965ean Arno Penzias eta Robert Wilsonek ustekabearen aurkitu zuten unibertsoaren hondoko mikrouhin-erradiazio hori eta *Big Bang*-aren ebidentziarik nabarmenena da. ➔

arabera, unibertsoa hedatzen ari delako froga da hori. Izan ere, galaxiarteko espazioa zabaltzen ari da, eta egitura handiago bat sortuz grabitazioak galaxiak elkarren ondoan mantentzen ez baditu (kumulu eta superkumuluen kasua, adibidez), zenbat eta urrunago egon, orduan eta abiadura handiagoaz aldentzen dira galaxiak. Higidura horretan, argiak bere uhin-luzera egokitu behar dio unibertsoaren tamainari; uhin-luzera handitu behar da eta, beraz, gorriaranzko lerrakuntza gertatzen da.

Unibertsoaren hondoko mikrouhin-erradiazioa

Big Bang-aren osteko unibertsoaren lehen 300.000 urteetan, hain altua zen tenperatura, ezen materia guztia zegoen ionizaturik eta argiarekiko opakua

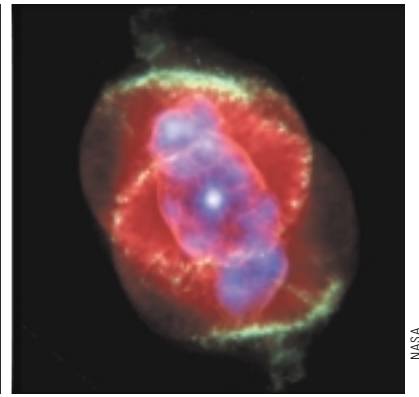
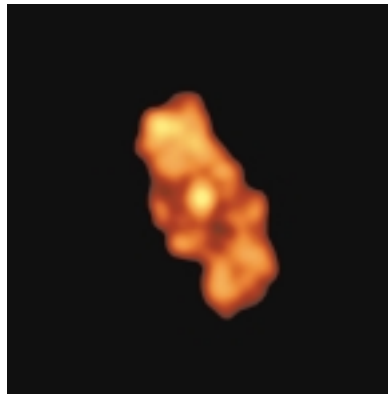


Gure galaxiaren irudia uhin-luzera desberdinetan hartuta.

Nukleo arinen kopurua

Big Bang-ean oinarritutako eredu kosmologiko estandarrek iragarritakoaren arabera, unibertsoaren lehen bi edo hiru minututan helio-atomoak sortu ziren, baita bestelako zenbait elementu arinen aztarnak ere. Egindako neurketek baieztatu egiten dute iragarritakoa.

Unibertsoan dauden nukleoak aztertu, eta % 75 hidrogeno-nukleoak direla ikusi da, eta ia gainerako guztia helioa. Oso neurri txikian (% 2) beste elementu batzuk ere badira: oxigenoa, karbonoa, neona, nitrogenoa eta abar (ordena kantitate handienetik txikienera, hain zuzen). Izan ere, unibertsoa 'erdi hutsik' dago. Alegia, deuterio-kantitatea neurtu da hidrogeno-hodeietan eta, besteak beste, honako ondorio hauek lortu dira: unibertsoaren % 65 hutseko energia da eta % 35



Katuaren Begia nebulosa.

“unibertsoaren % 35 baino ez da materia; hortik, % 5 da ohiko materia eta beste guztia materia iluna”

baino ez da materia; hortik, % 5 da ohiko materia eta beste guztia materia iluna da. Zientzialariek ez dakite zerk osatzen duen materia iluna; ez da ikusten, baina ikuskorrak diren gauzen gaineko grabitazio-eragina du. Esaterako, galaxian gas-hodeiak nukleo baten inguruan abiadura konstantean biraka ikusten dira. Hori ezinezkoa litzateke ikuskorrak diren izarren masa baino ez balego galaxian.

Alberto Galindo Tixaire: “Mugak gainditzen goazen neurrian handitzen



G. ANDONEGI BERSTAIN

Alberto Galindo Tixaire Zaidinen (Huesca) jaio zen 1934an; nahiz eta matematikaria den, Zaragozako Fisika Matematikoko Katedraduna da, baita Madrileko Fisika Teorikoko Katedraduna ere. Madrileko Unibertsitate Konplutensean, Fisika Teorikoaren Unibertsitatearteko Taldearen sortzailea eta lehen zuzendaria izan da, eta hainbat sari irabazi ditu.

Zerk motibatzen du fisikari teorikoa, zergatik ikertzen du?

Batez ere kuriositatea, jakin-mina da fisikari teorikoa mugiarazten duena. Bere matematikarako joerak bultzatzen du fisikaria teoriko

izatera. Bestalde, hedonismoa deituko nioke fisika teorikoan ikertzeko dudan ilusioari; naturan gertatzen diren prozesuen aberastasuna oinarritzko lege gutxi batzuen bidez ulertu ahal izatea

plazer hutsa da. Bai txikian (atomoa eta txikiagoa) eta bai handian ere (unibertsoa...). Nolabait esanda, nire buruan sartu nahi dut mundua.

Zeren esperantzarekin ikertzen duzue? Zeren bila zabilzate?

Galdera asko daude erantzunaren zain. Unibertsoaren inguruko ez gain, mikrofisikaren munduan ere galderak ugariak dira. ‘Zein da grabitazioaren teoria kuantikoa?’, ‘oinarritzko partikulen munduan, ezagutzen direnak baino maila baxuagoak badaude?’, ‘Oinarritzko konstante fisikoei dagokienez, kalkulagarriak ote dira ala behin-behinekoak dira?’. Eta tarteko maila batean, konplexutasunaren fisika dago: materia kondentsatua, fluidoaren fisika, eta abar. Horren inguruan ere, tenperatura altuko supereroaletasuna azaltzea, adibidez, oso interesgarria litzateke.

Zein dira zure gaur egungo ikerkuntza-lerroak?

Azkenotan konputazio kuantikoa da gehien erakartzen nauena. Etorriko diren ordenagailu kuantikoei

etekinik handiena lortzeko algoritmoak garatu eta nire ekarpen txikia egiten saiatu naiz. Ordenagailua da informazioa prozesatzen duen tresna, eta ordenagailu kuantikoko prozedura kuantikoen bidez prozesatzen du informazioa. Horren aplikazio zuzena da, esaterako, banku-transferentziak gauzatzekoan, segurtasuna bermatuko duten enkriptazio-sistemak hobeto egitea. Izan ere, ordenagailu kuantikoei zenbaki oso handien zenbaki lehenak lortzeko gaitasuna izango dute. Informazio kuantikoak komunikazioaren eta kalkuluaren munduan iraultza sor dezake, eta, azken finean, zientzia eta gizartea bera ere eralda ditzake.

Zein dira, fisika teorikoaren ikuspuntutik, epe laburrean egin daitezkeen aurkikuntzak eta zein, oraindik ere erantzuteko urrun geratzen diren galderak?

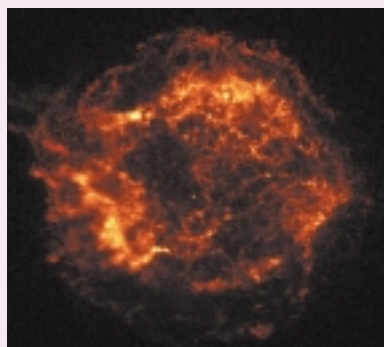
Galdera asko dago oraindik erantzunik gabe, eta nahiz eta horien erantzuna lortu, galdera berri asko sortuko dira. Mugak gainditzen goazen neurrian handitzen dira

“unibertsoaren
hedapena
azeleratuz doa”

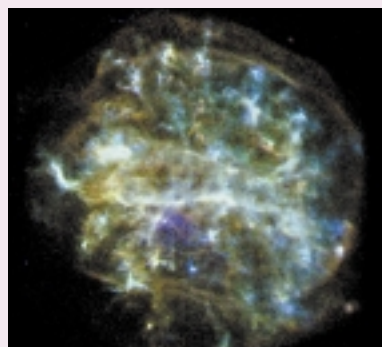
Supernoben argia espero zitekeena baino ahulagoa da

la-motako supernobak nano zurien leherketa termonuklear erraldoiak dira, eta alboko izarraren masa bereganatu eta grabitazioak eraginda inplosionatzen dira. Irudietan ikus daitezke horrelako batzuk, hain zuzen ere.

Azken hiru urteotan supernoben argia neurtu da eta, dirudienez, zenbat eta urrunago egon supernoba, espero zitekeena baino ahulago ikusten da bere



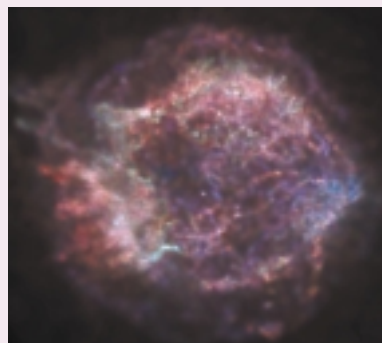
Cassiopeia A hondar-supernoba, X izpiko irudia.



G292.0+1.8 hondar-supernoba.



Cassiopeia A, teleskopio optikoa.



Cassiopeia A hondar-supernoba, X izpiko irudia.

Cambridgen dagoen *Chandra X-ray Observatory*-ko irudiak.

“dira ezjakintasunaren mugak ere”

ezjakintasunaren mugak ere. Hala ere, egia da zenbait erantzun beste zenbait baino askoz ere hurbilago ikusten direla. Urrun ikusten diren erantzunak dira, adibidez, galdera hauenak: ‘Benetan aldaezinak dira oinarrizko legeak?’, ‘Zenbat dimentsio ditu unibertsoak? Ez ote ditu izango ikusten ditugunak baino gehiago?’, ‘Nola sortu ziren espazioa eta denbora?’, ‘Gure unibertsoaz aparte, egongo ote da beste unibertsoarik? Hau da, ez ote da izango gure unibertsoa beste ‘Multibertso’ anitzago baten barneko zerbait?’. Zilegi da fisikaren ikuspuntutik horrelako galderak egitea; baina, ziur asko, urte asko igaroko dira horien erantzuna lortu artean. Bestalde, erantzuna gertuago

duten galderak ere badaude. Txikiaren inguruan, Zein da partikulen masaren jatorria?; Zergatik dira hiru oinarrizko partikulen familiak eta ez gehiago? Handiaren inguruan, ‘Zein izan zen unibertsoak *Big Bang*-aren ondoren pairatu zuen inflazio erraldoi horren sortzailea?’, ‘Zerez osatua daude energia eta materia iluna?’, ‘Antimateria baino materia gehiago dagoela behatu da, zergatik da hori?’.

Duela gutxi ura aurkitu da Marten eta berehala erlazionatu da bertan bizia egoteko aukerarekin. Zer deritzozu bizitza beste nonbait aurkitzeari?

Zergatik ez? Gau argi batean zerura begiratu eta ez gara, bada,

gure txikitasunaz ohartzen hainbeste munduren aurrean? Zergatik izan behar dugu guk bereziak? Dagoeneko ezagutzen dira hamaikatxo planeta bestelako eguzki-sistemetan. Egia da biziaren sorrerak baldintza eta ingurune egokiak behar dituela, baina zergatik pentsatu behar dugu ezinezkoa dela baldintza horiek berriro gertatzea beste toki eta denbora batean?

Gizartearen aurkikuntzak ulertzeko prest ote dago?

Gizartearen guk uste duguna baino gehiago arduratzen da gai zientifikoez. Eta hizkuntza lauan azalduz gero, gai horien garrantziaz eta irismenez ohartzen dira herritarrak; ulertu egiten dute, hain zuzen ere. Alabaina, ‘ulertu’ hitzak esanahi oso sakona izan dezake. Gauza batzuk ulertu egiten dira eta beste asko ezagun egiten zaizkigu, ohitu egin gara. Adibidez, guk mekanika kuantikoa egunero erabiltzen dugun arren, horren inguruan badira galdera asko guk ere erantzun ezin ditugunak.

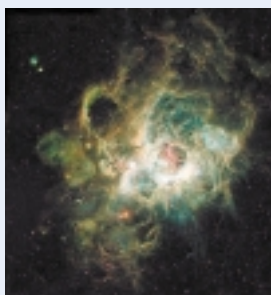
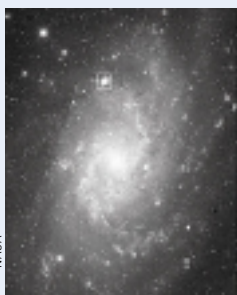
Egin dezakezue fisikariok zuen ezagutza modu errazagoan gizarteratzeko zerbait?

Dudarik gabe. Zientziaren komunikazioa areagotu eta jakin-mina sor dezakegu. Are gehiago, hori egin behar dugu; izan ere, ordaintzen ditugun zergen bidez finantzatzen dira ikerketa-proiektuak eta gizarateak argi eduki behar du zientzia bultzatu behar dela garapena lortzeko.

Baloratzen da kultura zientifikoa kalean?

Ez. Jakintza zientifikoa ez da nahikoa baloratzen; zientzia kulturaren atal garrantzitsua da eta, beste alor batzuen artean, zientziaren inguruko jakintza minimoa izan beharko genuke denok. Izan ere, gaur egun gizarte konplexu eta teknifikatu honetan gertatzen diren zenbait arazo sakonki ulertzeko, ezinbestekoa da zientziaren arloko ezagutza minimo bat.

Aitziber Lasa eta
Garazi Andonegi

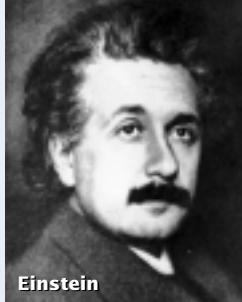


Fisikaren mugak eta erronkak

Ez dago 300.000.000 m/s-ko abiadura gaindi dezakeen fenomenorik; ezta partikula baten posizioa eta momentua aldi berean eta zehaztasun osoz jakiterik ere. Horiek biak **muga fisikoak** dira; gainditu ezin diren muga fisikoak; **c** eta **h** konstanteek adierazten dituzte argiaren abiadura eta Plancken konstantea hurrenez hurren.



Heisenberg



Einstein

Muga fisikoak: **c**, **h**

Bestalde, gure unibertso ezaguna eztanda handi baten ondorioz jaio zelako, badaude iraganeko gertaera batzuk guk oraindik ere ikusi ez ditugunak; horien argia gugana iristeko nahiko denbora ez delako iragan, hain zuzen ere. Muga horri partikulen horizontea deritzo. Halaber, hedakuntzaren azelerazioak erritmo berean jarraitzen badu, zenbait fenomeno desagertu egingo dira gure begi-bistatik denborak aurrera egin ahala; ezin

Muga kosmologikoak: **horizonteak**



Rindler

argia. Unibertsoaren hedapena azeleraturaz joango balitz bezala. Baina logikoena litzateke unibertsoaren hedapena dezeleratzea, hura osatzen duen masaren grabitazio-erakarpenaren ondorioz. Bada, esan bezala, egindako neurketen arabera ez da hori gertatzen. Badirudi zerbaitek eragiten duela hedapena, zerbaitek 'bultzatzen', 'antigrabitatzen' du unibertsoa; zerbaitek aldentzen ditu galaxia batzuk besteetatik. Horren aurrean, zientzialariek 'hutseko energia' bat dagoela proposatu dute, 'grabitazioaren aurkako hutseko energia', hain zuzen ere.

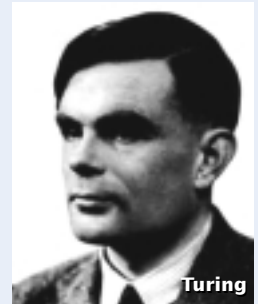
“hedapenaren azelerazioaren azken ebidentzia aurtengo martxoan argitaratu dute”

Cambridgeko eta Australiako astronomo-talde batek horren guztiaren beste ebidentzia bat argitaratu du aurtengo martxoan. Alegia, gaur egungo unibertsoaren eta 300.000 urte zituen uniber-

izango dugu berriro ikusi gaur egun ikus dezakegun milaka milioi galaxia. Horri gertaeren horizontea deritzo. Horizonte biak, partikulena eta gertaerena, **muga kosmologikoak** dira.

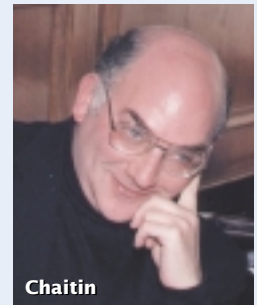


Gödel



Turing

Muga sakonak: **erabakiezintasuna aritmetikaren aleatoriotasuna**



Chaitin

Bukatzeko, matematikak ere baditu bere mugak, eta fisikaren hizkuntza matematika den neurrian, matematikaren mugak fisikaren mugak ere badira. **Muga sakonak**, hain zuzen ere.

Zer da zientzialariek oraindik ere ez dakitena? Alberto Galindo Tixaireren hitzetan: “Ba ote zegoen zerbaite *Big Bang*-a baino lehen?”. “Zer da materia iluna? Zerez osatuta dago?”, “Nola eratu ziren lehen izarrak?”, “Ez ote da izango gure unibertsoa beste ‘Multibertso’ aberatsago eta anitzago baten barneko zerbaite?”, “Zerk sorrarazi zuen *Big Bang*-a?”. Galdera horiek ez dute erantzunik oraingoz; beraz, oraindik ere badute zer ikertu fisikariek.

tsoaren egiturak konparatu dituzte eta, berriro ere, hedapenaren azelerazioa baieztatu da. Gaur egungo egitura finkatzeko, unibertsoaren bolumen handi bat hartu eta 250.000 galaxiaren dispersio-eredua aztertu dute. Hondoko mikrouhin-erradioari esker unibertsoak 300.000 urte zitueneko egitura ezaguna zen.

Horren inguruan agertzen den arazoa da, hutseko energia horrek oso txikia izan behar duela behatutakoarekin bat etortzeko; fisika kuantikoaren arabera, ordea, ia-ia infinitua izan behar du!